BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti air, angin, panas bumi dan lain-lain. Adapun penggunaanya menjadi penting untuk mengurangi ketergantungan pada bahan fosil dan mengurangi dampak perubahan iklim. Sumber energi ini disebut *renewable* karena dapat diperbaharui secara alami dalam waktu yang singkat. Energi terbarukan dapat dijadikan sebagai alternatif yang strategis dalam menghadapi krisis energi global dan permasalahan lingkungan. Secara keseluruhan peningkatan konsumsi energi mengakibatkan ketergantungan yang cukup besar terhadap sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam (Didin Syarief, 2020).

Energi terbarukan memiliki beberapa karakteristik utama yaitu (1) Tidak menimbulkan polusi udara, (2) Ketersediaannya tidak terbatas selama proses alam berlangsung, (3) Dapat dimanfaatkan dalam berbagai skala. Selain itu, pengembangan dari energi terbarukan ini dapat meningkatkan ketahanan energi memperkuat ekonomi lokal dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Pemanfaatan energi terbarukan menjadi prioritas global salah satunya negara Indonesia, yang telah menargetkan peningkatan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional. Menurut peraturan pemerintah indonesia No.79 2014 “tentang kebijakan energi nasional menargetkankontribusi energi baru dan terbarukan mencapai 23% dari bauran energi nasional pada tahun 2025”.

2.1.1 Energi Air

Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah energi air. Energi air merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan melalui gerakan massa air, baik dari aliran sungai, bendungan yang dapat menghasilkan energi mekanik atau listrik. Secara umum, energi air dikategorikan sebagai energi potensial dan energi kinetik yang dapat dikonversi melalui sistem mekanis menjadi energi lain. prinsip dasar konversi energi yang didasarkan pada hukum-hukum dasar mekanika fluida khususnya pada bernoulli dan hukum kekekalan energi. Air memiliki energi potensial pada ketinggian tertentu, dan apabila air dialirkan melalui turbin energi potensial dan kinetik tersebut dapat berubah menjadi energi mekanik rotasi. Selanjutnya, energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik melalui generator (Dharmanto, 2016).

Menurut Cengel, Y.A., dan Cimbala, J.M, yang dikutip oleh Fahmi Hidayat, (2023) bahwa ada beberapa hubungan antara energi air dan daya yang dihasilkan dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$P=p.g.Q.H \quad \text{..... (2.1)}$$

Keterangan:

P = daya keluaran (Watt)

p = densitas air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)

Q = debit aliran air (m^3/s)

H = Head Efektif aliran *(m)*

Persamaan ini menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan tergantung pada debit air, tinggi jatuh air, dan efisiensi sistem. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil, parameter ini menjadi perancangan turbin. Beberapa energi yang terdapat dalam aliran air adalah energi kinetik, energi potensial dan energi Aliran.

A. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang berkaitan dengan benda-benda bergerak. Apabila sebuah benda bergerak, maka ada energi yang berkaitan dengan objek tersebut. Energi kinetik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$EK = \frac{1}{2}mv^2$.....(2.2)

B. Energi Potensial

Energi potensial merupakan energi yang mempengaruhi benda karena posisi (ketinggian) benda tersebut memiliki kecenderungan yang tak terhingga pada arah dari gaya yang ditimbulkan dari energi potensial tersebut. Energi Potensial dapat dirumuskan;

EP=mgh .....(2.3)

2.2 Turbin Air

Turbin adalah sebuah mesin penggerak yang memanfaatkan energi dari aliran fluida seperti air, gas, dan uap untuk menghasilkan energi mekanik yang dapat menggerakkan beban generator, kompresor, pompa dan lain sebagainya. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, “rakitan bilah rotor”. Fluida akan bergerak memutar sudu-sudu dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Turbin kini dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi dapat dapat

diperbaharui. Turbin air dikembangkan pada abad ke-19 dan digunakan luas tenaga industri untuk jaringan listrik. Pada awalnya bahwa penggunaan kincir air menjadi pertimbangan karena ukuran kincirnya yang membatasi debit dan head. Perkembangan kincir air menjadi turbin yang lebih modern membutuhkan jangka waktu yang lama dalam revolusi industri menggunakan metode dan prinsip ilmiah (Ismail & Taufik Arrahman, 2017).

Turbin air adalah perangkat konversi energi yang mengubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik pada poros turbin. Energi mekanik inilah yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator. Dalam Buku S.L. Dixon, & C.A. Hall, Pada prinsip konversi energi air menjadi energi listrik juga melibatkan 2 konsep yaitu konsep implus dan reaksi fluida. Turbin implus, dimana energi air sepenuhnya diubah menjadi energi kinetik sebelum mengenai sudu turbin. Sedangkan turbin reaksi terdapat perubahan energi tekanan dan energi kinetik yang terjadi secara bersamaan dalam saluran aliran turbin.

2.2.1 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air diklasifikasikan sebagai berikut:

A. Turbin Implus

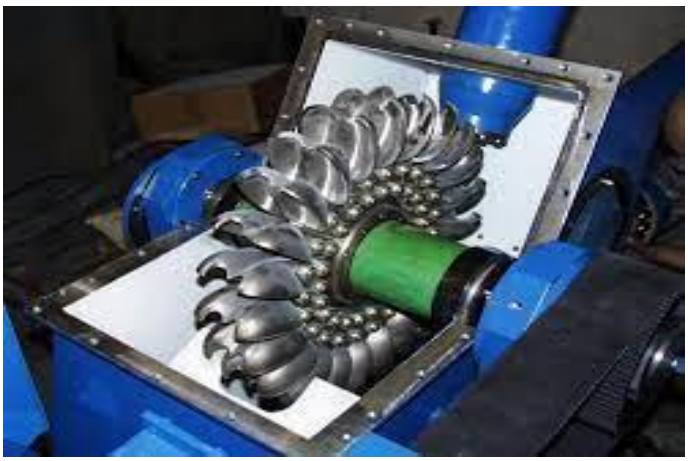
Turbin implus merupakan turbin yang merubah seluruh energi air dari energi potensial melalui kecepatan dan tekanan menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi potensial air akan diubah menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Air yang keluar dari *nozzle* memiliki tekanan yang sangat tinggi kemudian membentuk sudu. Benturan air dan sudu inilah akan

merubah arah aliran kecepatan sehingga terjadi perubahan momentum *(impluse).* Beberapa jenis turbin implus antara lain sebagai berikut;

B. Turbin pelton

Turbin pelton yang bekerja dengan prinsip implus, semua energi tinggi dan tekanan Ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Pada tahun 1872 turbin pelton ditemukan oleh S.N. Knight dan di tahun 1873 N.J. Colena kemudian memasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial yang bekerja pada sudu roda jalan. Turbin pelton ini ideal untuk ketinggian yang berukuran 80 m hingga 10 m dan dengan sedikit air.

Adapun keuntungan dari turbin pelton ini adalah pada setiap *nozzle* dapat dikontrol secara terpisah. Dibandingkan dengan jenis turbin yang lain, pleton ini memiliki kemiripan dengan roda air tradisional. Melalui turbin pelton ini, air menyentuh bagian tengah *hal-shells* atau yang disebut sebagai *buckets*.



Gambar 2.1 Turbin Pelton

(sumber:researchgate.net)

C. Turbin Turgo

Turbin air Turgo adalah jenis turbin yang bertipe implus yang sistem kerjanya sama dengan turbin pelton. Turbin turgo dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. melalui pancaran air dari *nozzle* membentuk sudut 20^0. Adapun kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton, akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator dapat menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.



Gambar 2.2 Turbin Turgo

(sumber:jurnal.poliupg.ac.id)

D. Turbin *Cross-Flow*

Turbin *Cross-Flow* merupakan salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja dari turbin ini mula-mula ditemukan pada tahun 1903 oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M Michell. Turbin ini dapat dioperasikan dalam debit 20 liter/detik hingga 10 m^3/detik dan tekanan antara 1 s/d 200 m. Turbin *Cross-flow* menggunakan *nozzle* persegi Panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Penggunaan

turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir angin dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin yang kecil dan lebih kompak dibandingkan kincir angin. Turbin *cross-flow* ini mempunyai arah aliran yang radikal dan tegak lurus dengan sumbu turbin. Turbin ini mempunyai alat pengarah sehingga dengan demikian celah bebas dengan sudu-sudu di sekeliling roda hanya sedikit.



Gambar 2.3 Turbin *Cross-flow*

(sumber:https://ojs.ummetro.ac.id)

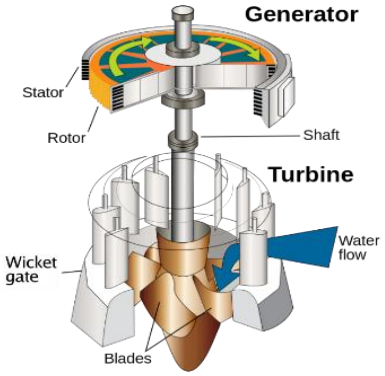
E. Turbin Reaksi

Turbin reaksi merupakan jenis turbin yang banyak digunakan. Turbin ini mempunyai sudu yang terbentuk khusus yang menyebabkan tekanan air akan menurun saat melewati suhu tersebut. Turbin reaksi ini adalah turbin yang menghasilkan putaran atau torsi dengan menggunakan tekanan atau massa dari fluida. Pada jenis turbin reaksi diperlukan sudu yang berguna

untuk mengontrol fluida yang masuk. Beberapa jenis turbin reaksi, yaitu sebagai berikut:

1. Turbin kaplan dan *propeller*

   Turbin Kaplan dan *propeller* merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari *propeller* seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga sampai enam sudu.



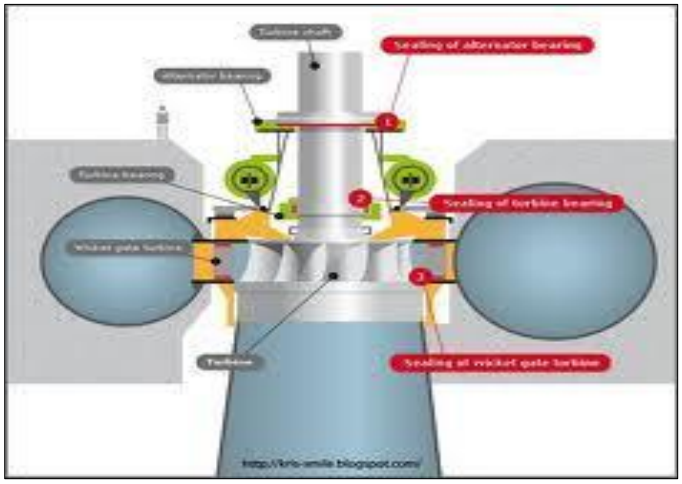
Gambar 2.4 Turbin Kaplan

(sumber:https://journal.maranatha.edu)

2. Turbin francis

   Pada turbin francis perubahan energi potensial air menjadi mekanis melalui tahapan dengan mengubah energi potensial menjadi energi kinetik yang diikuti penurunan tekanan, dan selanjutnya energi kinetik diubah menjadi energi mekanik pada poros rotor *(runner)*. Turbin dipasang diantara sumber air yang bertekanan tinggi di bagian masuk dan bertekanan rendah di bagian luar, turbin francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah pada turbin francis merupakan suatu sudu pengarah yang tetap

ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudunya untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengaah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.



Gambar 2.5 Turbin Francis

(sumber:id.scribd.com)

F. Turbin Berdasarkan Jenis Aliran Air Masuk *Runner*

Berdasarkan jenis aliran air *runner*, maka turbin air dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu;

1. Turbin air *Tangensial*

   Pada turbin ini air masuk melalui *runner* dengan arah *tangensial* atau tegak lurus dengan poros *runner* yang mengakibatkan *runner* berputar.

2. Turbin aliran aksial

   Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*. Salah satu cocok dari tipe ini adalah turbin Kaplan da *propeller*.

3. Turbin aliran aksial-radial

   Pada turbin ini, air masuk dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. Salah satu contoh dari turbin ini adalah turbin francis.

2.3 Turbin Air Savonius

Turbin air Savonius termasuk dalam kategori turbin *cross-flow* berbasis *drag.* Adapun prinsip kerjanya memiliki perbedaan gaya seret antara sisi yang cembung dan cekung bilah saat fluida mengalir melewati rotor. Berbeda dengan turbin angin, fluida air memiliki densitas sekitar 800 kali lipat lebih besar, sehingga torsi yang dihasilkan akan lebih signifikan bahkan pada kecepatan fluida rendah, dengan demikian kesederhanaan mekanik dan kemampuannya beroperasi dalam kondisi variabel menjadikannya sangat relevan untuk sistem pembangkit listrik mikrohidro berkelanjutan. Turbin Savonius terdiri dari dua atau lebih bilah berbentuk silinder yang disusun berlawanan arah membentuk huruf S jika dilihat dari atas. Ketika fluida air mengalir, perbedaaan gaya drag antara sisi cekung dan cembung bilah menyebabkan momen puntir (torque) yang memutar poros vertical (Sadri Mahmud, 2024).

Turbin air Savonius diciptakan oleh Sirgurd Johanes Savonius pada tahun 1922, sebagai rotor vertikal sederhana, rotor Savonius bekerja karena terjadinya perbedaan gaya antara masing-masing sudu. Rotor ini dimanfaatkan pada aliran Sungai-sungai dengan kecepatan aliran yang rendah dan potensi ketinggian yang rendah tanpa harus memakan banyak ruang, rotor ini mampu mendapat koefisien

dan gaya yang cukup tinggi pada aliran air dengan kondisi tersebut (Khoiri Rozi, 2023).

Bagian cekung rotor ini menangkap dan mengkonversikan energi kinetik yang dihasilkan oleh aliran fluida yang berupa udara atau air. Selanjutnya energi yang diterima dijadikan energi gerak untuk menggerakkan rotor Savonius dengan arah gerak rotasi. Bentuk dari sudu Savonius memiliki gaya drag yang sedikit saat bergerak akibat aliran fluida atau *fcovex* dibandingkan dengan sudu yang bergerak oleh aliran fluida atau *fconvace* proses ini akan terus berulang-ulang selama ada aliran fluida. Rotor Savonius terdiri dari tiga bagian utama yaitu: plat, poros, dan sudu.

2.3.1 Kelebihan dan kekurangan turbin Savonius

A. kelebihan rotor Savonius

Kelebihan turbin Savonius dapat memanfaatkan kecepatan aliran yang rendah dan potensi ketinggian yang rendah pada aliran Sungai. Fakhrul Widyantama, (2021) saat nilai TSR turbin di antara 0,5 sampai 1,5 dimana dia dapat melakukan *self-starting*, dan jenis turbin ini juga konstruksinya yang mudah dibuat serta perawatannya tergolong muda.

B. Kekurangan turbin Savonius

Kekurangan turbin Savonius adalah memiliki kelemahan pada nilai efisien yang cukup rendah, maksimal 20%, dan torsi yang tinggi dapat menyebabkan tegangan mekanis pada komponen turbin.

2.4 Rumus-rumus yang digunakan

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. **Luas Penampang (A)**

   Luas penampang adalah luas permukaan rotor yaitu perkalian antara tinggi rotor dengan diameter rotor.

   A = D x H .....(2.4)

   Dimana:

   A = Luas Permukaan Sudu (m2)

   D = diameter (m)

   H = Tinggi Sudu (m)

2. **Debit (Q)**

   Debit adalah volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang tiap satuan waktu.

   Q = A.V .....(2.5)

   Dimana:

   Q = Debit air (m^2/s)

   A = Luas penampang yang dilalui oleh air (m^2)

   V = Kecepatan aliran air (m/s)

3. ***Head Efektif*** **(H)**

   Merupakan ukuran energi fluida yang benar-benar dapat dimanfaatkan dalam suatu sistem setelah memperhitungkan berbagai kehilangan energi.

   $H = \frac{V}{2g}$ .....(2.6)

   Dimana:

H= tinggi permukaan air (m)

V = kecepatan air (m/s^2)

g = jari-jari poros (m)

4. Massa Jenis (ρ/m^3)

Massa jenis adalah perbandingan massa dan volume benda, pada penelitian ini massa jenis air diperoleh dari (lampiran tabel L.2 sifat fisik zat).

5. Daya Air (Pa)

Merupakan energi kinetik dari air yang mengalir tiap satuan waktu.

$P_{air} = \rho.g.Q.H$ .....(2.7)

Dimana:

P_{air} = daya air yang tersedia (watt)'

ρ = densitas air (kg/m^2)

g = gravitasi bumi (9,81 m/s)

Q = debit air (m^2/s)

H = tinggi air dalam saluran (m)

6. Gaya (F)

Adalah sesuatu yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami percepatan.

F= m.g .....(2.8)

Dimana:

F= gaya yang terjadi (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s^2)

7. Torsi (τ)

Merupakan hasil kali antara gaya pembebanan yang bekerja pada poros dan jari-jari poros.

τ = F.r .....(2.9)

Dimana:

τ = besarnya torsi yang terjadi (N.m)

F = gaya yang bekerja terhadap poros (N)

r = jari-jari poros (m)

8. Kecepatan sudut (ω)

Merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros setiap detik maka dapat dirumuskan sebagai berikut.

$\omega = \frac{2\pi}{n}$ .....(2.10)

Dimana:

ω = kecepatan putaran sudut (rad/s)

n = banyaknya putaran yang terjadi tiap satuan waktu (rpm)

π = 3,14

9. Daya Turbin Air (Pt)

Merupakan daya yang dihasilkan oleh kincir air sebagai akibat dari putaran kincir air dan torsi yang terjadi.

$P_t = \tau . \omega$.....(2.11)

Dimana:

Pt = daya yang dihasilkan oleh turbin (watt)

τ = besarnya torsi yang terjadi (N.m)

ω = banyaknya putaran yang terjadi tiap satuan waktu (rpm)

10. *Tip speed ratio* (λ)

Merupakan perbandingan putaran rotor dengan kecepatan aliran.

$\Lambda = \frac{\omega.r}{v}$ .....(2.12)

Dimana:

λ = *Tip speed ratio*

ω = Kecepatan rotasi rotor (rad/s)

r = jari-jari rotor (m)

v = kecepatan aliran air (m/s)

11. Efisiensi (η)

Merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan, dengan daya yang tersedia dalam bentuk persen atau bisa disebut dengan kinerja

$\eta = \frac{Pt}{P_a}$ x 100%.....(2.13)

Dimana :

η = efisiensi turbin (%)

Pt = daya turbin (Watt)

Pa = daya air (Watt)

2.5 Jurnal Rujukan

Penelitian mengenai peningkatan kinerja turbin Savonius terus berkembang, khususnya dalam upaya memodifikasi bentuk bilah agar efisiensi energi yang dihasilkan semakin optimal Cahya Irani, (2022). melakukan *Studi Eksperimental Terhadap Uji Performa Turbin Angin Savonius Tipe U Berdasarkan Variasi Sudut Guide Vane*, melalui penambahan *Guide Vane* terhadap turbin angin Savonius Tipe U sebagai upaya dalam meningkatkan kinerja turbin. Adapun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sudut pitch dengan jarak 150 cm memiliki rata-rata kecepatan 7,6 – 7,9 m/s, putaran turbin sebesar 218,1 Rpm dan daya yang dihasilkan mencapai 61,70 Watt.

Penelitian Petrus Sampelawang, (2022) juga mengkaji tentang *Pengaruh Model Alur Bergerigi Terhadap TSR Dan Kinerja Turbin Air Savonius Sudu Dua Dengan Variasi Jumlah Alur Horizontal,* melalui eksperimen laboratorium membuktikan bahwa jumlah alur 8 memberikan hasil yang terbaik dengan performa tertinggi, dengan daya maksimum 9,8 watt, torsi maksimum 0,86 dan efisiensi maksimum 9,05 %. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Wibowo dan Nugroho yang menguji turbin angin vertikal tipe Savonius dengan variasi bentuk alur. Mereka melaporkan bahwa penambahan alur berbentuk V pada bilah meningkatkan kemampuan rotor untuk berputar lebih cepat serta menurunkan torsi negatif pada sisi berlawanan.

Dalam penelitian Sadri Mahmud, Witono Hardia dan Bambang Tjiroso, (2024) yang mengkaji *Pengaruh Sudut Blade terhadap Tip Speed Ratio (TSR) dan Coefficient of Power (Cp) pada Turbin Angin Savonius Type V*. Menghasilkan perbedaan bentuk dari turbin angin sumbu vertikal tipe V berpengaruh pada putaran turbin dimana turbin dengan sudut 50^{o} memiliki sudut paling kecil mengakibatkan angin yang di dapat oleh turbin sangat sedikit, pada sudut 80^{o} lebih terbuka dan angin yang diperoleh turbin tidak banyak yang terbuang melewati turbin. Pada sudut 80^{o} memiliki TSR yang paling besar untuk semua tingkat kecepatan. Pada sudut itu efisiensinya paling tinggi. Hal itu berdasarkan peta kinerja turbin angin Savonius yang mana pada TSR kurang dari 1 semakin besar TSR semakin besar nilai Cp nya.

Pada penelitian Fakhrul Widyantama, (2021) tentang *Simulasi CFD Pengaruh Penggunaan Deflektor Pelat Lengkung terhadap Performa Turbin Air Savonius Sumbu Vertikal Dua Sudu.* Adapun hasilnya menunjukkan bahwa performa turbin air tanpa pelat dan performa turbin air dengan dua variasi Plat lengkung. Data yang didapatkan pada hasil simulasi adalah data torsi aktual turbin. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu performa yang dihasilkan turbin Savonius dengan pelat lengkung lebih baik dari performa yang dihasilkan tanpa penggunaan pelat lengkung. Pengujian dengan penggunaan Pelat lengkung ukuran ½ sisi, pelat lengkung ukuran ¼ sisi, dan tanpa pelat lengkung didapatkan bahwa dengan penggunaan pelat lengkung ukuran ¼ sisi menghasilkan menghasilkan koefisien daya yang tertinggi yaitu 0,049 dan daya turbin sebesar 1,56 Watt pada TSR 0,3.

Menurut Aris Rahmanto & Indra Herlamba Siregar, (2019) dengan judul *Studi Eksperimen Pengaruh Jarak Celah Blade Pengganggu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius*, melakukan eksperimen dengan pengujian langsung pada turbin Savonius dengan variasi jarak celah *blade* 0 cm, 2 cm, 4 cm, dan 6 cm yang bertujuan untuk memahami bagaimana perubahan jarak celah pada blade pengganggu dapat mempengaruhi kinerja turbin angin Savonius, khususnya dalam hal daya yang dihasilkan dan efisiensi turbin.

Analisis Turbin Angin Vertikal Hybrid Savonius Bertingkat Dan Darrius Tipe H-Rotor, yang dilakukan oleh Muhammad Suprapto & Idzani Muttaqin, (2022) yang bertujuan untuk menguji turbin angin Savonius dan Darrieus yang pengujiannya dilakukan secara eksperimen terhadap kedua turbin dan juga *hybrid* dengan parameter daya dan kecepatan putaran poros. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi 4,5 m/s, Turbin Darrius 26,24 watt. Pada kecepatan angin 4,5 m/s turbin Savonius menghasilkan *shaft speed* sebesar 429,93 Rpm, sedangkan turbin angin Darrius memperoleh putaran *shaft speed* sebersan 358,28 Rpm, dan turbin *hybrid* Savonius *Darrius* memperoleh putaran *shaft speed* sebesar 482,7 Rpm.

Penelitian *Pengaruh Gerak Bebas Sudu Pada Rotor Savonius Modifikasi Turbin Air*. yang dilakukan oleh Budi Hartadi & Rendi, (2018) dimana penelitian ini bertujuan untuk melaksanakan kajian secara eksperimental mencari seberapa besar pengaruh Gerak bebas sudu. Hasil dari penelitian ini nilai TSR jarak bebas 0^0 sedangkan nilai torsi tertinggi pada jarak bebas sudu 30^0, jumlah sudu berpengaruh

pada kinerja turbin, nilai torsi maksimum pada jumlah sudu 3 yaitu 0,38 N/m, dan putaran tertinggi pada jumlah sudu 3 yaitu 35,8 rpm.

Penelitian oleh Petrus Sampelawang, (2024) tentang *Enhancing Savonius Rotor Model With Additional Groves On Hydrokinetic Turbin Performance,* yang bertujuan meningkatkan efisiensi dan performa turbin hidrokinetik tipe Savonius, yang dikenal memiliki efisiensi relatif rendah dibanding turbin horizontal, menganalisis pengaruh penambahan alur *(grooves)* pada permukaan sudu terhadap koefisien drag (cd) dan efisiensi konversi energi, dan menentukan lebar alur yang optimum yang menghasilkan performa terbaik pada turbin poros vertikal Savonius. Pada penelitian ini menghasilkan efisiensi maksimum meningkat dari sekitar 30,97% menjadi 35,66% pada lebar alur 12,5 mm, koefisien *drag* (Cd) juga meningkat dari 2,71 menjadi 3,08, dan peningkatan efisiensi mencapai 4,69% dibandingkan dengan rotor konvensional.

Penelitian *Savonius Performance* Analysis Of The -*Type Rotor With Grooved Blades As A Hydrokinetic Turbine,* yang dilakukan oleh Petrus Sampelawang, (2025) tujuannya untuk Menganalisis performa turbin hidrokinetik Savonius dengan modifikasi bilah beralur (*grooved blades*) untuk meningkatkan efisiensi, Mengetahui pengaruh jumlah alur pada bilah terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR), efisiensi konversi energi (η), dan torsi, Mengidentifikasi jumlah alur yang menghasilkan performa terbaik pada turbin Savonius dua sudu. Hasil pada penelitian ini TSR maksimum: 1,32.

Efisiensi maksimum 29,58%, Turbin dengan alur menghasilkan TSR maksimum 1,40, Efisiensi maksimum 33,71%, Peningkatan efisiensi: 4,17% Peningkatan TSR 0,08. Pada penelitian yang Khoiri Rozi, (2023) tentang *Karakteristik Aliran Turbin Hidrokinetik Savonius Susunan Inward Dan Outward Overlap Dengan Dua Semicircular Blade-Flat Leading Edge*, yang bertujuan mempelajari medan aliran melalui turbin hidrokinetik Savonius dengan *flat-leading edge* dan mengetahui pengaruh ketebalan blade dan *overlap.* menghasilkan bahwa struktur aliran berubah seiring dengan meningkatnya putaran turbin dengan kompleksitas aliran terbentuk pada sudut putar yang lebih besar. Posisi inward dan outward overlap menciptakan pola aliran lebih kompleks.